

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

H01L 21/31 (2006.01)
H01L 21/316 (2006.01)
H01L 21/318 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

[21] 申请号 200880020112.6

[43] 公开日 2010年3月24日

[11] 公开号 CN 101681833A

[22] 申请日 2008.6.10

[21] 申请号 200880020112.6

[30] 优先权

[32] 2007.6.14 [33] JP [31] 157985/2007

[86] 国际申请 PCT/JP2008/060587 2008.6.10

[87] 国际公布 WO2008/153013 日 2008.12.18

[85] 进入国家阶段日期 2009.12.14

[71] 申请人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 佐藤吉宏 小林岳志 盐泽俊彦

田村大辅

[74] 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

代理人 龙淳

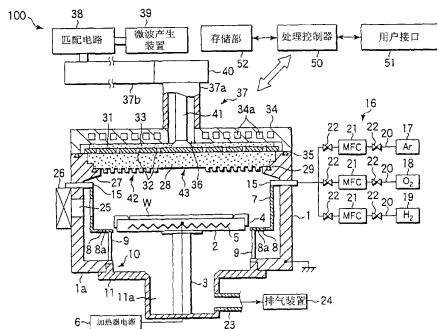
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 4 页

[54] 发明名称

微波等离子体处理装置和微波等离子体处理方法以及微波透过板

[57] 摘要

本发明提供微波等离子体处理装置和微波等离子体处理方法以及微波透过板。微波等离子体处理装置(100)，其利用从平面天线(31)的微波放射孔(32)放射的、透过微波透过板(28)的微波在腔室(1)内形成处理气体的等离子体，利用该等离子体对载置于载置台(2)的被处理体(W)实施等离子体处理，其中，微波透过板(28)在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸状部(42)，与被处理体(W)的中央部对应的部分形成为平坦部(43)。



1. 一种微波等离子体处理装置，其利用微波形成处理气体的等离子体，利用该等离子体对被处理体实施等离子体处理，该微波等离子体处理装置的特征在于，包括：

收容被处理体的腔室；

在所述腔室内载置被处理体的载置台；

产生微波的微波产生源；

向所述腔室内导入由微波产生源产生的微波的波导机构；

由导体构成的平面天线，其具有向所述腔室放射被所述波导单元引导的微波的多个微波放射孔；

由电介质构成的微波透过板，其构成所述腔室的顶壁，并且使通过所述平面天线的微波放射孔的微波透过；和

向所述腔室内供给处理气体的处理气体供给机构，

所述微波透过板，在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸状部，与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部。

2. 如权利要求1所述的微波等离子体处理装置，其特征在于：
所述微波透过板，当所述凹凸状部的面积为100%时，所述平坦部的面积为20~40%。

3. 如权利要求1所述的微波等离子体处理装置，其特征在于：
所述平坦部的直径为被处理体的直径的50~80%。

4. 如权利要求1所述的微波等离子体处理装置，其特征在于：
所述凹凸状部，由多个凸部和凹部交替地形成为同心状而构成。

5. 如权利要求4所述的微波等离子体处理装置，其特征在于：
所述凸部的宽度为4~23mm，所述凹部的宽度为3~22mm，所述凸部的高度为1~10mm。

6. 如权利要求 1 所述的微波等离子体处理装置，其特征在于：
作为所述等离子体处理进行的是氮化膜的氧化处理。

7. 一种微波等离子体处理方法，其特征在于，包括：
将表面具有氮化硅膜的被处理体载置在腔室内的载置台上的步骤；

使微波从形成于平面天线的多个微波放射孔放射，并使所述微波透过构成所述腔室的顶壁的由电介质构成的微波透过板，将所述微波向所述腔室内导入的步骤；

向所述腔室内供给含氧气体的步骤；和

利用导入到所述腔室内的所述微波使所述含氧气体等离子体化，对被处理体的氮化硅膜实施氧化处理的步骤，

该微波等离子体处理方法，按照使等离子体中的离子分布在被处理体的面内成为均匀的方式向所述腔室内导入微波。

8. 如权利要求 7 所述的微波等离子体处理方法，其特征在于：

作为所述微波透过板使用以下所述的微薄透过板：在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸部，其微波透过面的与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部。

9. 如权利要求 8 所述的微波等离子体处理方法，其特征在于：

所述微波透过板，当所述凹凸状部的面积为 100%时，所述平坦部的面积为 20~40%。

10. 如权利要求 8 所述的微波等离子体处理方法，其特征在于：

所述平坦部的直径为被处理体的直径的 50~80%。

11. 如权利要求 8 所述的微波等离子体处理方法，其特征在于：

所述凹凸状部，由多个凸部和凹部交替地形成为同心状而构成。

12. 如权利要求 11 所述的微波等离子体处理方法，其特征在于：

所述凸部的宽度为 4~23mm，所述凹部的宽度为 3~22mm，所述凸部的高度为 1~10mm。

13. 如权利要求 7 所述的微波等离子体处理方法，其特征在于：
在以下所述条件下进行等离子体处理：所述腔室内的处理压力为 1.3~665Pa，并且在处理气体中氧气的含有比例为大于等于 0.5% 且小于 10%。

14. 一种微波透过板，其当在腔室内的载置台上在表面载置被处理体、使微波从形成于平面天线的多个微波放射孔放射、将微波导入到所述腔室内时使微波透过，所述微波透过板构成所述腔室的顶壁并且由电介质构成，所述微波透过板的特征在于：

在所述微波透过板的微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸状部，与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部。

15. 如权利要求 14 所述的微波透过板，其特征在于：
当所述凹凸状部的面积为 100% 时，所述平坦部的面积为 20~40%。

16. 如权利要求 14 所述的微波透过板，其特征在于：
所述平坦部的直径为被处理体的直径的 50~80%。

17. 如权利要求 14 所述的微波透过板，其特征在于：
所述凹凸状部，由多个凸部和凹部交替地形成为同心状而构成。

18. 如权利要求 17 所述的微波透过板，其特征在于：
所述凸部的宽度为 4~23mm，所述凹部的宽度为 3~22mm，所述凸部的高度为 1~10mm。

微波等离子体处理装置和微波等离子体处理方法以及微波透过板

技术领域

本发明涉及微波等离子体处理装置和方法以及使用它们的微波透过板，尤其涉及利用微波等离子体处理将氮化硅膜氧化从而形成氧化硅膜的技术。

背景技术

等离子体处理是制造半导体设备不可或缺的技术，近阶段，因为要求 LSI 的高集成化、高速化，所以构成 LSI 的半导体元件的设计规则日益细微化，此外，半导体晶片大型化，伴随于此，在等离子体处理装置中也同样要求应对这种细微化和大型化的技术。

然而，在现有技术中多使用的平行平板型、感应耦合型的等离子体处理装置中，因为电子温度高所以对细微元件产生等离子体损伤，此外，因为等离子体密度高的区域被限定，因此很难对大型的半导体晶片进行均匀且高速的等离子体处理。

因此，能够均匀形成高密度且低电子温度的等离子体的 RLSA（径向线缝隙天线）微波等离子体处理装置引起人们的关注（例如国际公开第 2004/008519 号手册）。

RLSA 微波等离子体处理装置，在腔室的上部设置有以规定的图案形成有多个槽缝的平面天线（径向线缝隙天线），使从微波产生源导入的微波经由平面天线的槽缝而放射，并且经由设置在其下的由电介质构成的微波透过板向保持为真空的腔室内进行放射，利用该微波电场使导入到腔室内的气体等离子体化，利用这样形成的等离子体对半导体晶片等被处理体进行处理。

在该 RLSA 微波等离子体处理装置中，能够遍及天线正下方的广阔区域实现高等离子体密度，能够在短时间内进行均匀的等离子体处理。此外，因为形成具有低电子温度的等离子体，所以对元件的伤害减小。

利用这种低伤害且均匀性高的优点，向氧化处理的适用引起人们的关注，在栅极氧化膜的形成等直接氧化硅基板的情况下，因为Si-Si键能为2.3eV左右，因此自由基在支配性的比较高压的区域中，实现较高面内均匀性的氧化处理。

另外，近年来，作为非易失性存储元件的浮动栅极和控制栅极之间的绝缘膜，多使用在氧化膜上形成氮化膜，并且进一步在其上形成有氧化膜的三层结构（ONO结构）的绝缘膜，尝试对氮化硅（SiN）膜上的最终氧化膜实施RLSA微波等离子体处理，在该情况下，SiN的键能为3.5eV，因此，不仅自由基，还需要更高能量的离子。

然而，在等离子体中的离子较多存在的条件下形成等离子体时，不能充分进行离子分布控制，SiN膜上形成的氧化膜呈凸型的不均匀分布。

发明内容

本发明的目的在于提供一种能够控制离子分布利用含有离子的微波等离子体实现面内均匀性高的等离子体处理的微波等离子体处理装置以及使用该装置的微波透过板。

此外，本发明的其它目的在于提供一种在利用微波等离子体进行氮化硅膜的氧化处理时，能够形成面内均匀性高的氧化膜的微波等离子体处理装置以及微波等离子体处理方法。

根据本发明的第一观点，提供一种微波等离子体处理装置，其利用微波形成处理气体的等离子体，利用该等离子体对被处理体实施等离子体处理，该微波等离子体处理装置的特征在于，包括：收容被处理体的腔室；在上述腔室内载置被处理体的载置台；产生微波的微波产生源；向上述腔室内导入由微波产生源产生的微波的波导机构；由导体构成的平面天线，其具有向上述腔室放射被上述波导单元引导的微波的多个微波放射孔；由电介质构成的微波透过板，其构成上述腔室的顶壁，并且使通过上述平面天线的微波放射孔的微波透过；和向上述腔室内供给处理气体的处理气体供给机构，上述微波透过板，在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分

具有凹凸状部，与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部。

在上述第一观点中，上述微波透过板，优选当上述凹凸状部的面积为 100%时，上述平坦部的面积为 20~40%。上述平坦部的直径优选为被处理体的直径的 50~80%。另外，优选上述凹凸状部，由多个凸部和凹部交替地形成为同心状而构成。在该情况下，优选上述凸部的宽度为 4~23mm，上述凹部的宽度为 3~22mm，上述凸部的高度为 1~10mm。而且作为上述等离子体处理可以列举进行氮化膜的氧化处理。

根据本发明的第二观点，提供一种微波等离子体处理方法，包括：将表面具有氮化硅膜的被处理体载置在腔室内的载置台上的步骤；使微波从形成于平面天线的多个微波放射孔放射，并使上述微波透过构成上述腔室的顶壁的电介质构成的微波透过板，将上述微波向上述腔室内导入的步骤；向上述腔室内供给含氧气体的步骤；和利用导入到上述腔室内的上述微波使上述含氧气体等离子体化，对被处理体的氮化硅膜实施氧化处理的步骤，该微波等离子体处理方法，按照使等离子体中的离子分布在被处理体的面内成为均匀的方式向上述腔室内导入微波。

在上述第二观点中，作为上述微波透过板，可以使用在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸部，其微波透过面的与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部的微波透过板。上述微波透过板，优选当上述凹凸状部的面积为 100%时，上述平坦部的面积为 20~40%。优选上述平坦部的直径为被处理体的直径的 50~80%。优选上述凹凸状部，由多个凸部和凹部交替地形成为同心状而构成。在该情况下，优选上述凸部的宽度为 4~23mm，上述凹部的宽度为 3~22mm，上述凸部的高度为 1~10mm。

而且，在上述第二观点中，优选在以下所述条件下进行等离子体处理：上述腔室内的处理压力为 1.3~665Pa，并且在处理气体中氧气的含有比例为大于等于 0.5%且小于 10%。

根据本发明的第三观点，提供一种微波透过板，其当在腔室内的载置台上在表面载置被处理体、使微波从形成于平面天线的多个微波放射孔放射、将微波导入到上述腔室内时使微波透过，上述微

波透过板构成上述腔室的顶壁并且由电介质构成，该微波透过板，在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸状部，与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部。

在上述第三观点中，上述微波透过板，优选当上述凹凸状部的面积为100%时，上述平坦部的面积为20~40%。另外，优选上述平坦部的直径为被处理体的直径的50~80%。而且，优选上述凹凸状部由多个凸部和凹部交替地形成为同心状而构成。在该情况下，优选上述凸部的宽度为4~23mm，上述凹部的宽度为3~22mm，上述凸部的高度为1~10mm。

根据本发明，因为使微波透过板在其微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸状部，与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部，所以能够抑制在周缘部在沿着微波透过板内的半径方向上驻波的形成，从而提高周缘部的离子密度，能够得到面内均匀性高的离子分布。即，当使用RLSA微波等离子体处理装置进行如氮化硅膜的氧化处理那样的需要较高能量的等离子体处理时，在自由基的基础上还需要使用离子较多的等离子体进行处理，在该情况下，明确在中央形成有较高的离子分布，但是，通过使微波透过板的微波透过面的与被处理体的周缘部对应的部分具有凹凸状部，与被处理体的中央部对应的部分形成为平坦部，能够抑制周缘部的驻波提高离子密度，其结果是，能够进行面内均匀性高的等离子体处理。

附图说明

图1是表示本发明的一个实施方式的微波等离子体处理装置的概要截面图。

图2是表示图1的微波等离子体处理装置的平面天线部件的结构的面图。

图3A是表示图1的微波等离子体处理装置的微波透过板的结构的侧面图。

图3B是表示图1的微波等离子体处理装置的微波透过板的结构的底面图。

图 4 是用于说明图 1 的微波等离子体处理装置的微波透过板的平坦部直径和晶片直径之间的优选范围的说明图。

图 5 是用于说明本发明的装置的适用例的截面图。

图 6A 是用于说明比较装置中的离子密度分布的说明图。

图 6B 是用于说明本发明装置中的离子密度分布的说明图。

具体实施方式

以下，参照附图的同时对本发明的优选方式进行说明。

图 1 是示意性表示本发明的一个实施方式的微波等离子体处理装置的截面图。该等离子体处理装置作为 RLSA 微波等离子体处理装置构成，该 RLSA 微波等离子体处理装置利用具有多个槽缝的平面天线特别是 RLSA（径向线缝隙天线）向处理室内导入微波而产生等离子体，由此能够产生高密度且低电子温度的微波等离子体，例如，适当地适用于等离子体氧化处理中，在本实施方式中，表示出适用于氮化膜的氧化处理的例子。

该等离子体处理装置 100 具有构成为气密的并且被接地的大致圆筒状的腔室 1。在腔室 1 的底壁 1a 的大致中央部形成有圆形的开口部 10，在底壁 1a 设置有与该开口部 10 连通并且向下方突出的排气室 11。

在腔室 1 内设置有用于将作为被处理基板的半导体晶片（以下简称“晶片”）W 水平地支撑的由 AlN 等陶瓷形成的基座 2。该基座 2 通过从排气室 11 的底部中央向上方延伸的圆筒状的由 AlN 等陶瓷形成的支撑部件 3 被支撑。在基座 2 的外缘部设置有用于引导晶片 W 的导向环 4。此外，在基座 2 埋入有电阻加热型的加热器 5，该加热器 5 通过从电源 6 被供电从而加热基座 2，利用该热量对作为被处理体的晶片 W 进行加热。此时，例如能够将处理温度控制在从室温至 800℃ 的范围内。另外，在腔室 1 的内周设置有由高纯度（杂质少）的石英形成的圆筒状的衬套 7。能够利用该衬套 7 防止金属等的污染，从而形成清洁的环境。此外，在基座 2 的外周侧环状地设置有用于对腔室 1 内均匀地进行排气、具有多个排气孔 8a 的石英制的缓冲板 8，该缓冲板 8 通过多个支柱 9 被支撑。

在基座 2，以相对于基座 2 的表面能够伸出退回的方式设置有用于支撑晶片 W 以使其进行升降的晶片支撑销（未图示）。

在腔室 1 的侧壁设置有形成为环状的气体导入部件 15，均等地形成有气体放射孔。该气体导入部件 15 与气体供给系统 16 连接。气体导入部件也可以配置成喷淋状。该气体供给系统 16 例如具有 Ar 气体供给源 17、O₂ 气体供给源 18、和 H₂ 气体供给源 19，这些气体分别经由气体管路 20 导入至气体导入部件 15，从气体导入部件 15 的气体放射孔均匀地被导入至腔室 1 内。在各气体管路 20 上设置有质量流量控制器 21 和其前后的开闭阀 22。此外，也可以取代 Ar 气体而使用其它的稀有气体，例如 Kr、He、Ne、Xe 等气体。

上述排气室 11 的侧面与排气管 23 连接，该排气管 23 与包括高速真空泵的排气装置 24 连接。并且通过使该排气装置 24 动作，将腔室 1 内的气体均匀地向排气室 11 的空间 11a 内排出，经由排气管 23 被排气。由此，能够高速地将腔室 1 内减压至规定的真空度，例如 0.133Pa。

在腔室 1 的侧壁，设置有用于在等离子体处理装置 100 和与等离子体处理装置 100 邻接的搬送室（未图示）之间进行晶片 W 的搬入搬出的搬入搬出口 25；和对该搬入搬出口 25 进行开闭的闸阀 26。

腔室 1 的上部成为开口部，沿着该开口部的周缘部设置有环状的支撑部 27。在该支撑部 27 通过密封部件 29 气密地设置有由介电体例如石英、Al₂O₃ 等陶瓷构成的、微波能够透过的微波透过板 28。因此，腔室 1 内保持为气密状态。微波透过板 28 在其下表面即微波透过面的与晶片 W（基座 2 上的晶片 W）的周缘部对应的部分具有形成有凹凸的凹凸状部 42，与晶片 W 的中央部对应的部分成为平坦部 43。另外，将在后文对该微波透过板 28 进行详细说明。

在微波透过板 28 的上方，以与基座 2 相对的方式设置有圆板状的平面天线部件 31。该平面天线部件 31 卡合在腔室 1 的侧壁上端。平面天线部件 31 在与例如 8 英寸尺寸的晶片 W 对应的情况下，为由直径为 300~400mm、厚度为 0.1~几 mm（例如 1mm）的导电性材料构成的圆板。具体而言，例如由表面镀有银或者金的铜板或者铝板构成，构成为多个微波放射孔 32（槽缝）成对地以规定图案贯通

而形成的结构。该微波放射孔 32，例如如图 2 所示，呈长条形状的孔成对地形成，典型地，成对的微波放射孔 32 彼此配置成“T”字状，这些对呈同心圆状地配置有多个。微波放射孔 32 的长度和排列间隔根据微波的波长 (λ_g) 决定，例如微波放射孔 32 的间隔被配置成 $\lambda_g/4 \sim \lambda_g$ 。此外，在图 2 中，以 Δr 表示形成为同心圆状的邻接的微波放射孔 32 彼此的间隔。

此外，微波放射孔 32 也可以形成为圆形、圆弧形等其它形状。而且，微波放射孔 32 的配置形态没有特别的限定，除同心圆状之外，例如也可以配置成螺旋状、放射状。

在该平面天线部件 31 的上面设置有由具有与真空相比较大的介电率的例如石英、聚四氟乙烯、聚酰亚胺等树脂构成的滞波部件 33。由于在真空中微波的波长变长，因此该滞波部件 33 具有使微波的波长缩短以调整等离子体的功能。此外，在平面天线部件 31 和微波透过板 28 之间，而且在滞波部件 33 和平面天线部件 31 之间，分别被密封配置，但是也可以分离配置。

在腔室 1 的上面，以覆盖这些平面天线部件 31 和滞波部件 33 的方式设置有例如由铝、不锈钢、铜等金属材料构成的导体盖 34。腔室 1 的上面与导体盖 34 通过密封部件 35 被密封。在导体盖 34 中形成有冷却水流路 34a，通过在该冷却水流路 34 中流通冷却水，从而冷却导体盖 34、滞波部件 33、平面天线部件 31、微波透过板 28。其中，导体盖 34 被接地。

在导体盖 34 的上壁的中央形成有开口部 36，该开口部与波导管 37 连接。该波导管 37 的端部经由匹配电路 38 连接有微波产生装置 39。由此，由微波产生装置 39 产生的例如频率为 2.45GHz 的微波经由波导管 37 被向上述平面天线部件 31 传送。此外，作为微波的频率也可以使用 8.35GHz、1.98GHz 等。

波导管 37 具有从上述导体盖 34 的开口部 36 向上方延伸的截面为圆形的同轴波导管 37a、和经由模式转换器 40 与该同轴波导管 37a 的上端部连接的沿着水平方向延伸的矩形波导管 37b。在矩形波导管 37b 与同轴波导管 37a 之间的模式转换器 40 具有将在矩形波导管 37b 内以 TE 模式传播的微波转换为 TEM 模式的功能。在同轴波导

管 37a 的中心延伸存在有内导体 41, 该内导体 41 的下端部连接固定在平面天线部件 31 的中心。由此, 微波能够经由同轴波导管 37a 的内导体 41 均匀有效地向平面天线部件 31 传播。

微波等离子体处理装置 100 的各构成部件构成为与具有微型处理器(计算机)的处理控制器 50 连接从而被控制的结构。处理控制器 50 与用户接口 51 和存储部 52 连接, 上述用户接口 51 由操作者为了管理等离子体处理装置 100 而进行命令的输入操作等的键盘、可视化显示等离子体处理装置 100 的工作状态的显示器等构成, 存储部 52 中存储有用于通过处理控制器 50 的控制实现由等离子体处理装置 100 执行的各种处理的控制程序、用于根据处理条件使等离子体处理装置 100 的各构成部执行处理的程序即方案。方案被存储在存储部 52 中的存储介质中。存储介质既可以是硬盘、半导体存储器, 也可以是 CDROM、DVD、闪存等可移动性介质。此外, 也可以从其它的装置例如经由专用线路适当地传送方案。

根据需要, 通过来自用户接口 51 的指示等从存储部 52 调出任意的方案并由处理控制器 50 执行, 从而, 在处理控制器 50 的控制下, 进行等离子体处理装置 100 中的所期望的处理。

接着, 对微波透过板 28 进行详细说明。

如图 3A 所示, 微波透过板 28 在其微波透过面的包含与晶片 W 的周缘部对应的部分的区域具有交替形成有凸部 42a 和凹部 42b 的凹凸状部 42, 与晶片 W 的中央部相对应的部分形成为平坦部 43。并且, 凹凸状部 42 的凸部 42a 和凹部 42b 如图 3B 所示形成为同心圆状。该凹凸状部 42 具有抑制沿着微波透过板 28 内的半径方向形成的驻波的形成, 从而提高等离子体密度并且使等离子体分布均匀的作用。因此, 与平坦部 43 相比, 形成有该凹凸状部 42 的与晶片 W 的周缘部对应的部分的等离子体密度(离子密度)上升。

该凹凸状部 42 只要至少设置在包括下述区域的部分即可, 上述区域为: 从晶片 W 周缘部的离子分布与晶片 W 的中央部相比开始降低的部分至晶片 W 的边缘为止。即, 通过提高周缘部的离子密度使离子分布呈凸状的倾向均匀化, 使没有必要使晶片 W 的离子密度上升的部分与平坦部 43 对应。从该观点出发, 如图 4 所示, 令晶片

W 的直径为 a，令平坦部 43 的直径为 b，优选 b/a 为 50~80%。换句话说，通过使周缘部的凹凸状部 42 的宽度为晶片 W 的半径的 20~50%，能够有效地使离子分布均匀。此外，从有效地消除驻波的观点出发，优选凸部 42a 的宽度为 4~23mm，凹部 42b 的宽度为 3~22mm，凸部 42a 的高度为 1~10mm。更为优选的是凸部 42a 的宽度为 6~14mm，凹部 42b 的宽度为 5~13mm，凸部 42a 的高度为 3~8mm。此外，微波透过板 28 的凹凸状部 42，优选除微波透过板 28 的安装边缘之外形成至微波透过面的端部，当凹凸状部 42 的面积为 100%时，优选平坦部 43 的面积为 20~40%。

该微波等离子体处理装置 100 适用于等离子体氧化处理，特别适用于在自由基基础上还利用离子援助需要较高能量的等离子体处理的氮化硅 (SiN) 膜的氧化处理中。作为这样的氮化硅膜的氧化处理的优选例，可以列举出图 5 所示的非易失性存储元件的浮动栅极和控制栅极之间的氮化膜的氧化处理。即，该存储元件具有以下结构：在 Si 基板 101 的主面上形成有隧道 (トンネル: tunnel) 氧化膜 102，在其上形成有由多晶硅构成的浮动栅极 104，在该浮动栅极 104 上形成有例如由氧化膜 105、氮化膜 106、氧化膜 107 构成的 ONO 结构的绝缘膜 108，进一步在该绝缘膜 108 上形成有由多晶硅或者多晶硅和钨硅化物等的层叠膜构成的控制栅极 109，在控制栅极 109 上形成有 SiN、SiO₂ 等的绝缘膜 110，在浮动栅极 104 和控制栅极 109 的侧壁利用氧化处理形成有侧壁氧化膜 111。这样的非易失性存储元件的氧化膜 105 通过热 CVD、等离子体 CVD、等离子体氧化处理等形成，氮化膜 106 通过热 CVD、等离子体 CVD 形成。并且，在形成氮化膜 106 上的氧化膜 107 时，能够适当地使用本实施方式的微波等离子体处理装置 100。

在对这样的氮化硅 (SiN) 膜进行等离子体氧化处理形成氧化膜时，首先，打开闸阀 26，从搬入搬出口 25 向腔室 1 内搬入将要进行氧化处理已形成有氮化膜的晶片 W，将其载置于基座 2 上。

然后，从气体供给系统 16 的 Ar 气体供给源 17 和 O₂ 气体供给源 18 以规定的流量经由气体导入部件 15 向腔室 1 内导入 Ar 气体和 O₂ 气体，维持在规定的处理压力。此时，SiN 的键能为 3.5eV，与

Si-Si 键的 2.3eV 相比较高, 因此, 通过如 Si 基板的直接氧化处理那样的自由基处于支配性的较高的高压区域中的处理难以进行氧化。因此, 优选应利用离子能, 使处理压力为较低的低压, 在 O₂ 气体浓度被降低的低压力、低氧浓度条件下进行氧化处理。

具体而言, 腔室内的处理压力优选为 1.3~665Pa, 更优选为 1.3~266.6Pa, 期望为 1.3~133.3Pa。此外, 处理气体中的氧的比例(流量比即体积比)优选为大于等于 0.5%且小于 20%, 更优选为 0.5~5%, 期望为 0.5~2.5%。对于处理气体的流量, 从 Ar 气体: 0~5000mL/min, 优选为 0~1500mL/min (sccm), O₂ 气体: 1~500mL/min, 优选为 1~50mL/min (sccm) 的范围中进行选择, 使得相对于全部气体流量的氧的比例成为上述值。

此外, 在来自 Ar 气体供给源 17 和 O₂ 气体供给源 18 的 Ar 气体和 O₂ 气体的基础上, 还能够从 H₂ 气体供给源 19 以规定比率导入 H₂ 气体。通过供给 H₂ 气体, 能够提高等离子体氧化处理中的氧化速率(rate)。这是因为通过供给 H₂ 气体而生成 OH 自由基, 其对提高氧化速率起作用。在该情况下, H₂ 的比例优选相对于处理气体整体的量成为 0.1~10%, 更优选为 0.1~5%, 期望为 0.1~2%。H₂ 气体的流量优选为 0.5~650mL/min (sccm), 更优选为 0.5~20mL/min (sccm)。

其中, 处理温度能够在 200~800℃的范围, 优选为 400~600℃。

接着, 来自微波产生装置 39 的微波经由匹配电路 38 被导入到波导管 37。微波依次通过矩形波导管 37b、模式变换器 40 和同轴波导管 37a 被供给至平面天线部件 31。微波在矩形波导管 37b 内以 TE 模式传送, 该 TE 模式的微波通过模式变换器 40 被变换为 TEM 模式, 在同轴波导管 37a 内向平面天线部件 31 传送, 从平面天线部件 31 经由微波透过板 28 向腔室 1 内的晶片 W 的上方空间放射。此时, 微波产生装置 39 的功率优选为 0.5~5kW。

利用这种微波, 当形成包含如上所述的离子的高能量的等离子体时, 若使用现有技术的平坦的微波透过板, 则具有晶片 W 中央部的离子密度高, 周缘部的离子密度低的倾向。另一方面, 公知在自由基处于支配地位的等离子体中, 通过在微波透过板形成同心圆状

的凹凸，防止在微波透过板的面内方向上形成驻波，由此能够形成均匀的高密度的等离子体，如图 6A 所示，尝试在微波透过板 28 的透过面的大致整个面形成凹凸状部 42。当利用使用这种微波透过板的微波等离子体处理装置形成包含离子的高能量的等离子体时，如图 6A 所示，自由基的密度分布均匀，但是对于离子而言仍然易于形成为在中央部离子密度高、在周缘部离子密度低的分布，难以进行均匀的氧化处理。

相对于此，如本实施方式所示，通过在微波透过板 28 的微波透过面的与晶片 W 的周缘部对应的部分形成凹凸状部 42，将与晶片 W 的中央部对应的部分形成为平坦部 43，由此，如图 6B 所示，能够仅将想要使离子密度提高的与晶片 W 的周缘部对应的部分的离子密度提高，形成面内均匀的离子分布，能够对氮化膜进行均匀的氧化处理。因此，能够提高所形成的氧化膜的均匀性。

接着，对实际上使用本发明的微波等离子体处理装置进行氧化处理的结果进行说明。

首先，使用图 1 的装置，根据以下条件利用 CVD 对已形成的 SiN 膜实施等离子体氧化处理，将 SiN 膜的表面氧化从而形成氧化膜。

处理压力：80Pa

气体流量：Ar/O₂/H₂=500/5/1.5 (mL/min (sccm))

处理时间：180sec

微波功率：4000W

温度：600℃

为了进行比较，使用在微波透过板的透过面的基本上整个表面设置有凹凸状部的装置（比较装置）在同样的条件下使 SiN 膜的表面氧化形成氧化膜。

其结果为以下所示的结果。

<本发明装置>

氧化膜的平均膜厚：8.72nm

膜厚变动的范围：1.34nm

膜厚的差异（范围/2×平均）：7.7%

<比较装置>

氧化膜的平均膜厚：9.26nm

膜厚变动的范围：3.88nm

膜厚的差异（范围/2×平均）：21.5%

接着，使用本发明的装置和在微波透过板的整个透过面形成有凹凸状部的装置（比较装置），在相同条件下在裸 Si 晶片的表面形成氧化膜的结果如下所述。

<本发明装置>

氧化膜的平均膜厚：11.26nm

膜厚变动的范围：0.85nm

膜厚的差异（范围/2×平均）：3.8%

<比较装置>

氧化膜的平均膜厚：12.48nm

膜厚变动的范围：1.12nm

膜厚的差异（范围/2×平均）：4.5%

从以上结果可以看出，对裸 Si 晶片的表面进行氧化处理形成氧化膜时，即便使用比较装置也得到充分的膜厚均匀性，但是与此相对，当在 SiN 膜表面形成氧化膜时，在比较装置中氧化膜厚的差异变得非常大，但可以确认，通过使用本发明的装置能够显著改善膜厚均匀性。

使用本发明的装置对条件进一步研究探讨，其结果是能够确认下述条件最合适。

处理压力：80Pa

气体流量：Ar/O₂/H₂=500/5/0.7（mL/min（sccm））

处理时间：180sec

微波功率：3600W

温度：600℃

此时的氧化膜如下所述：

氧化膜的平均膜厚：7.16nm

膜厚变动的范围：0.94nm

膜厚的差异（范围/2×平均）：6.6%

在相同条件下对裸 Si 晶片实施氧化处理形成氧化膜时，成为如下所述：

氧化膜的平均膜厚：9.37nm

膜厚变动的范围：0.72nm

膜厚的差异（范围/2×平均）：3.9%

此外，本发明并不局限于上述实施方式，能够进行各种变形。例如，在上述实施方式中，作为氮化硅（SiN）膜的氧化处理对于在形成非易失性存储元件的 ONO 绝缘膜时适用本发明的情况进行了例示，但是并不局限于此。另外，虽然表示出在氮化膜的氧化处理中使用本发明的装置的情况，但是只要使用 RLSA 方式的微波等离子体处理装置进行氧化处理的情况下，也可以适用于其它膜的氧化处理。

工业可利用性

本发明适用于在各种半导体装置的制造中对氮化硅（SiN）膜进行氧化处理的情况。

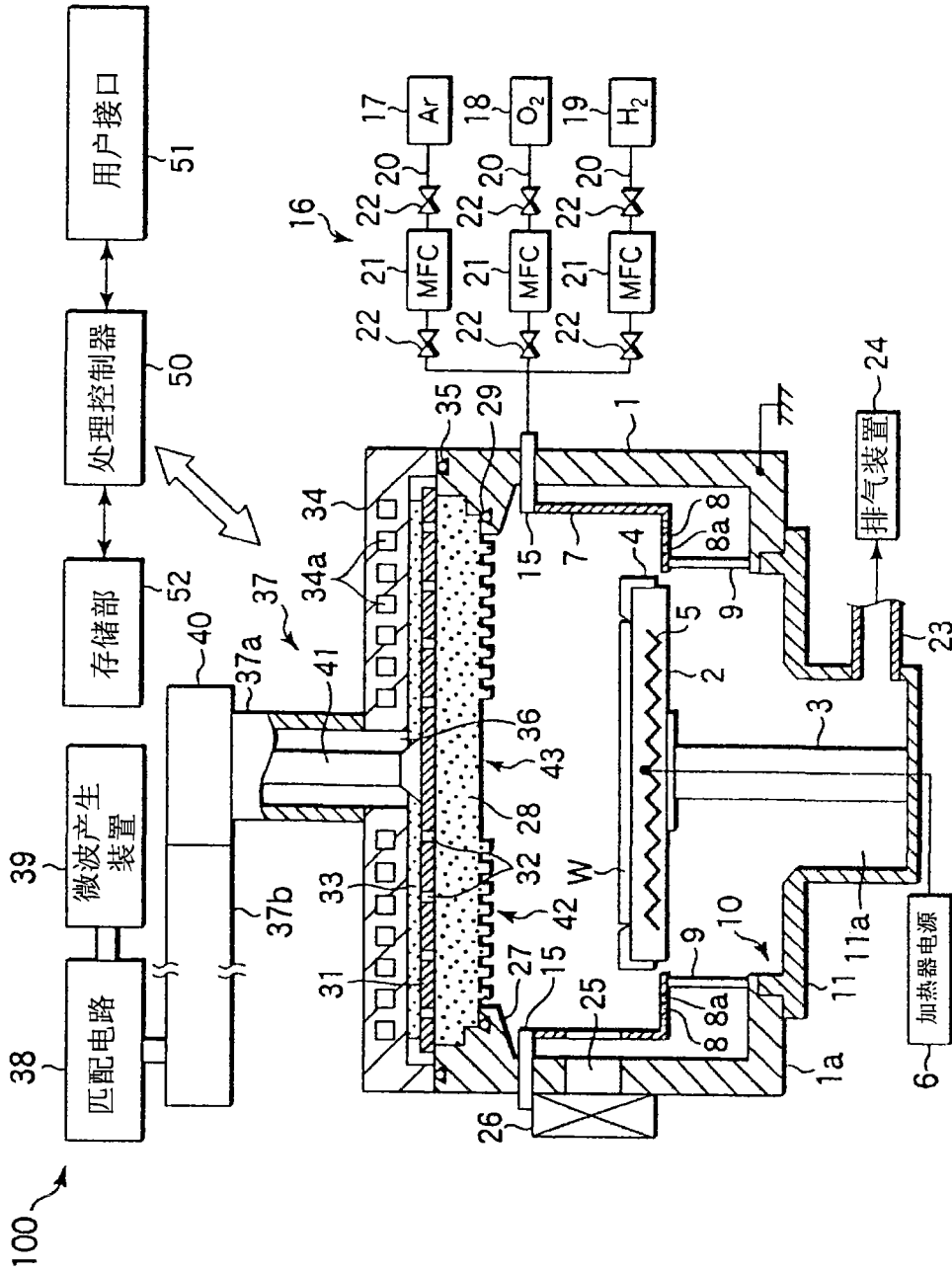


图1

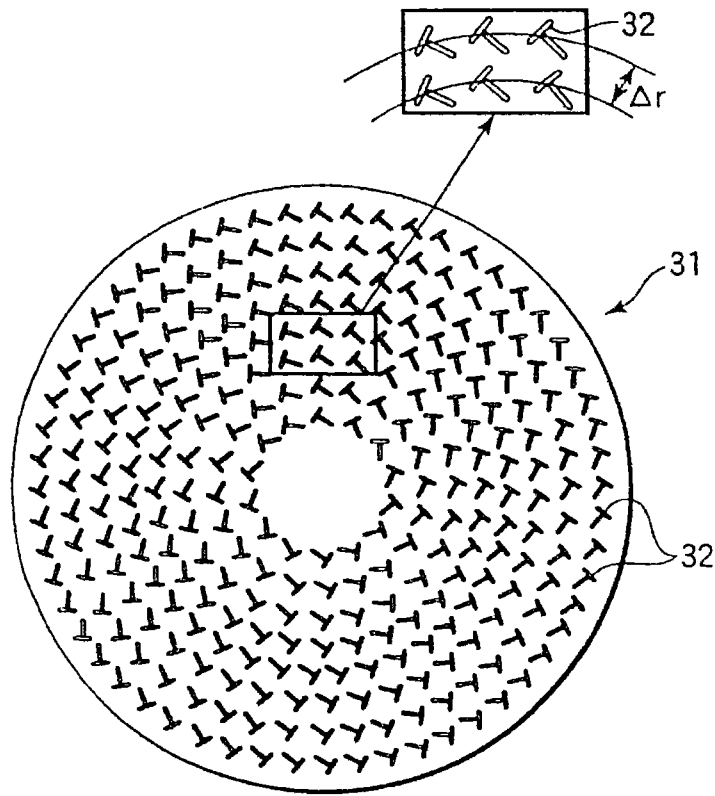


图2

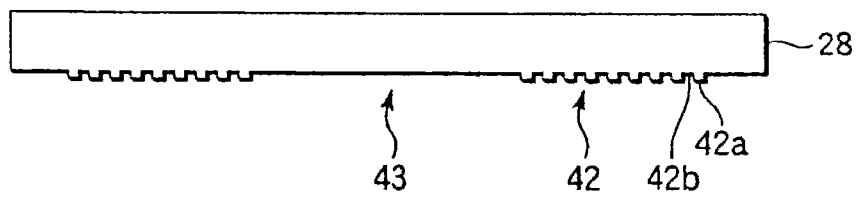


图3A

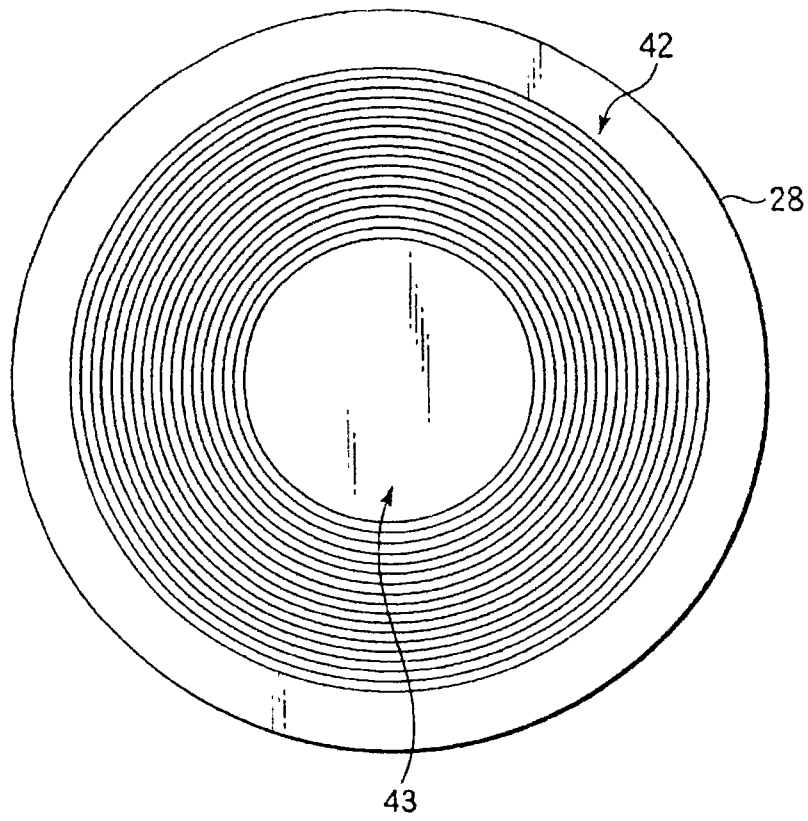


图3B

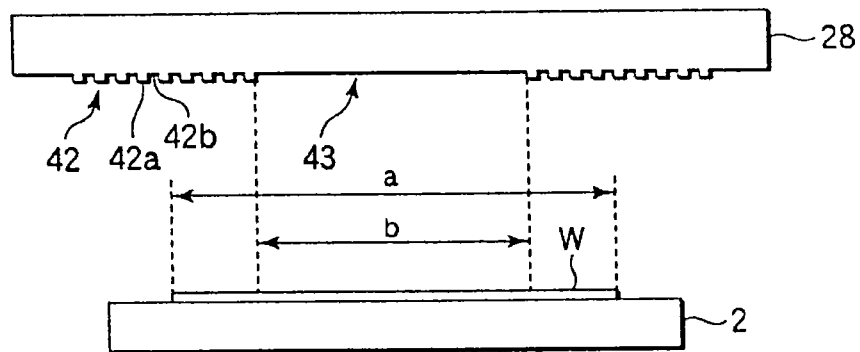


图4

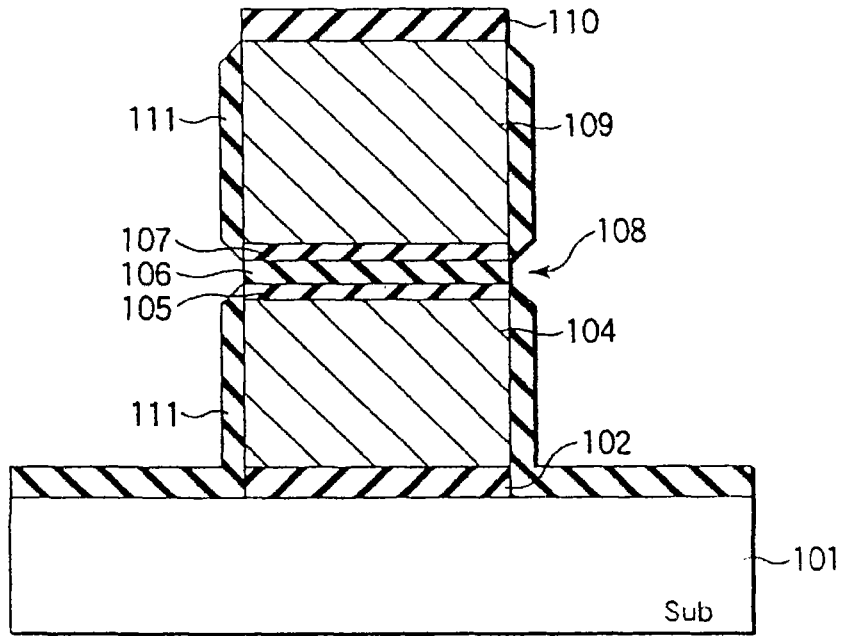


图5

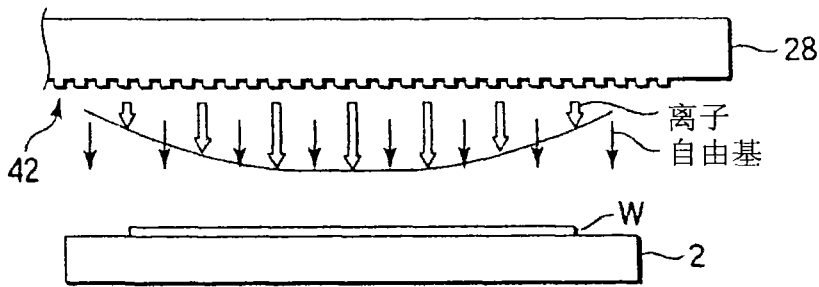


图6A

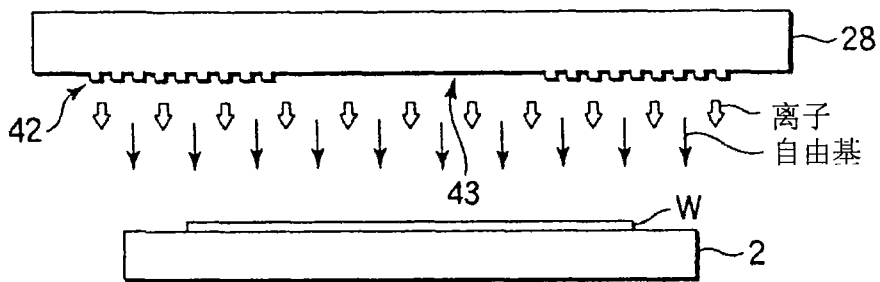


图6B